

电石法氯乙烯精馏工艺的模拟分析与优化

杨霞*, 廖思超, 吕玮

(青岛科技大学计算机与化工研究所, 山东 青岛 266042)

摘要: 利用 Aspen Plus 结合工厂的实际设备和工艺参数以及生产数据建立了电石法氯乙烯精馏工艺的模拟流程, 分别对低沸塔和高沸塔的进料位置、回流比等主要操作参数进行了灵敏度分析和优化计算, 获得了一致的最佳工艺参数。低沸塔进料位置为 4 块板, 回流比为 6; 高沸塔进料位置为 21 块板, 回流比为 0.3。

关键词: 氯乙烯; 精馏; 模拟; 分析

中图分类号: TQ028.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)09-0196-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.09.046

Simulation, analysis and optimization of distillation process for vinyl chloride by calcium carbide method

YANG Xia*, LIAO Si-chao, LV Wei

(Research Center for Computer and Chemical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: A simulation flowsheet of distillation process for vinyl chloride production by calcium carbide method is established by Aspen Plus on the base of actual equipment, process parameters and production data. The sensitivity analysis and optimization calculation are carried out upon the main operational parameters of low boiling tower and high boiling tower, such as position of feed entry, reflux ratios etc. The coherent optimal operational parameters are obtained as follows: the position of feed entry is at the fourth plate for the low boiling tower and at the 21st plate for the high boiling tower, and the reflux ratio is 6 and 0.3 respectively.

Key words: vinyl chloride; distillation; simulation; analysis

电石乙炔法是我国 PVC 工业生产普遍采用的生产工艺, 乙炔和氯化氢在转化器中合成的粗氯乙烯含有多种杂质, 需经过一系列的净化精制处理, 其中精馏工段是以脱除未反应完全的轻组分和生成的重组分获得聚合级的氯乙烯单体为目的, 是 PVC 生产中非常重要的工段^[1-3]。

Aspen Plus 作为化工流程分析和优化的有利工具, 已经被多次用于对氯乙烯精馏进行分析和优化^[4-6], 本文中借鉴前人的这些工作, 对某工厂年产 10 万 t 聚氯乙烯装置中的氯乙烯精馏工段进行模拟分析, 以期获得对工业生产的指导。

1 氯乙烯精馏工艺简述

我国大多数 PVC 厂家的氯乙烯精馏工艺都采用的是液相进料、先脱轻再脱重的双塔流程, 如图 1 所示。来自氯乙烯合成工段的粗氯乙烯气体经压缩机压缩后, 进入全凝器冷凝冷却, 冷凝后的 VCM 液体进入水分离器, 未冷凝的气体进入尾气冷凝器进一步深冷; 经分离器除水后的 VCM 液体进入低沸塔, 在低沸塔塔底除去乙炔等轻组分, 然后利用压差

进入高沸塔; 高沸塔塔顶气体进入成品冷凝器冷凝成氯乙烯单体, 然后送入单体储罐供 PVC 聚合用, 塔底则是以二氯乙烷为主的重组分。

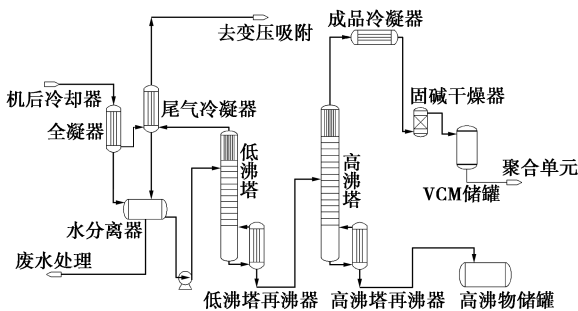


图 1 氯乙烯精馏工艺示意图

2 模拟流程的建立

2.1 数据采集

利用 Aspen Plus 建立氯乙烯精馏过程的模拟流程, 首先选取工业生产装置的实际参数作为操作参数, 包括进料量、进料组成以及工艺与设备参数等。

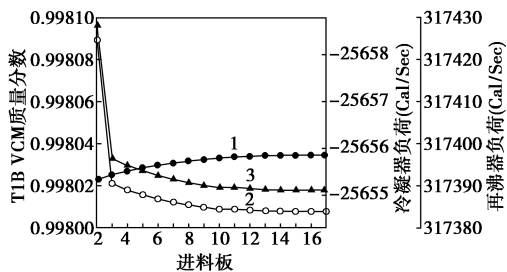
(1) 进料量及进料组成

进料量由工艺装置的生产规模决定, 本文中

3.2.1 低沸塔分析

(1) 低沸塔进料位置分析

从图 3 可以看出, 进料板位置下移, 塔釜 VCM 纯度缓慢增加, 同时冷凝器和再沸器的负荷逐渐减少。尽管幅度都非常小, 但可以看出第 4 块塔板进料位置最佳。

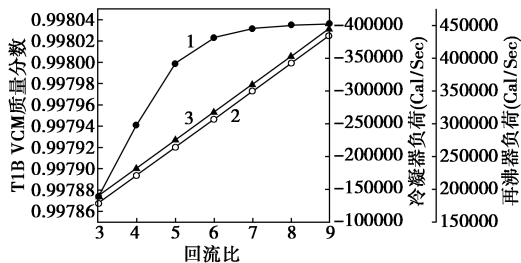


1—低沸塔塔釜 VCM 质量分数; 2—低沸塔冷凝器负荷; 3—低沸塔再沸器负荷

图 3 低沸塔进料位置灵敏度分析

(2) 低沸塔回流比分析

从图 4 可以看出, 回流比 3~6 对精馏效果影响较明显, 而 6~9 对精馏效果影响变得非常小。在保证产品质量合格的前提下降低回流比, 可以降低冷凝器和再沸器的热负荷。工厂实际装置回流比一般控制在 6~9, 因此 6 为最佳回流比。

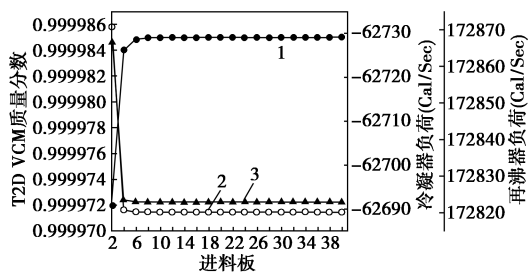


1—低沸塔塔釜 VCM 质量分数; 2—低沸塔冷凝器负荷; 3—低沸塔再沸器负荷

图 4 低沸塔回流比灵敏度分析

3.2.2 高沸塔分析

(1) 高沸塔进料位置分析



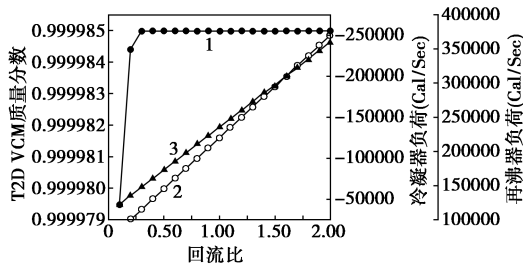
1—高沸塔塔顶 VCM 质量分数; 2—高沸塔冷凝器负荷; 3—高沸塔再沸器负荷

图 5 高沸塔进料位置灵敏度分析

从图 5 可以看出, 进料板的位置逐渐下移, 高沸塔塔顶 VCM 质量分数逐渐增加, 直至第 10 块板后塔顶 VCM 质量分数及冷凝器和再沸器的负荷均趋于平稳状态, 因此进料位置选在 10~30 块板都是合适的。

(2) 高沸塔回流比分析

从图 6 可以看出, 回流比增加, 塔顶出料 VCM 纯度迅速提高直至回流比大于 0.3 之后趋于平稳, 但是再沸器和冷凝器的热负荷却不断增大, 涨幅非常明显。因此, 高沸塔的最佳回流比为 0.3。



1—高沸塔塔顶 VCM 质量分数; 2—高沸塔冷凝器负荷; 3—高沸塔再沸器负荷

图 6 高沸塔回流比灵敏度分析

3.2.3 过程优化

利用 Aspen 中的优化工具 Optimization (与 Sensitivity 一样在 Model Analysis Tools 里), 设定目标量的优化目标, 同时给予足够的自变量, 或者给予一定的限制条件, Aspen 中会根据输入的变量达到目标量的优化目标。

本文中选取了高、低沸塔的回流比和高、低沸塔的进料板位置为自变量, 目标变量为产品质量、低沸塔冷凝器热负荷、低沸塔再沸器热负荷、高沸塔冷凝器热负荷、高沸塔再沸器热负荷, 建立优化模块。优化结果见表 5。

表 5 优化结果

项目	优化前	优化后
产品质量/%	99.99850	99.99889
低沸塔进料板位置	2	4
高沸塔进料板位置	30	21
低沸塔塔顶回流比	9	6
高沸塔塔顶回流比	0.5	0.3
低沸塔冷凝器热负荷/(MJ·h ⁻¹)	-3867.34	-3792.29
低沸塔再沸器热负荷/(MJ·h ⁻¹)	4784.43	4693.79
高沸塔冷凝器热负荷/(MJ·h ⁻¹)	-945.13	-925.79
高沸塔再沸器热负荷/(MJ·h ⁻¹)	2605.14	2552.25

(下转第 200 页)

返回吸收塔的顶部,进入吸收塔前由 E-102 冷却至适当的温度。工艺流程见图 1。

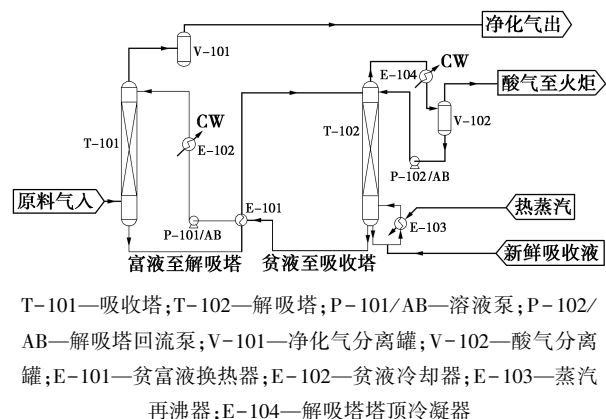


图 1 脱硫脱碳工艺流程图

T-101—吸收塔;T-102—解吸塔;P-101/AB—溶液泵;P-102/AB—解吸塔回流泵;V-101—净化气分离罐;V-102—酸气分离罐;E-101—贫富液换热器;E-102—贫液冷却器;E-103—蒸汽再沸器;E-104—解吸塔塔顶冷凝器

吸收塔入口合成气进量为 11 000 m³/h;温度 60℃;压力 2.2 MPa;各组分气体体积分数如下:CO 47.4%, H₂ 48.1%, CO₂ 3%, H₂S 500 × 10⁻⁶, COS 25 × 10⁻⁶。

醇胺吸收液中 N-甲基二乙醇胺 (MDEA) 和二乙醇胺 (DEA) 质量比为 4:1,溶液的质量分数为 20%,吸收液量为 50 m³/h。工厂由于扩能改造,合成气处理量将由正常操作的 11 000 m³/h 增加到 16 000 m³/h;同时由于原料重油质量劣化,合成气中酸性气体的含量将显著增加,其中 CO₂ 增大至 3.82%,H₂S 增大至 2 200 × 10⁻⁶,COS 增大至 120 × 10⁻⁶。希望通过模拟计算,为现有装置运行参数的调整及改造提供理论依据。

(上接第 198 页)

将优化结果与 3.2 灵敏度分析结果比较可见,两者获得的最佳进料位置和最佳回流比相同,不仅提高了 VCM 产品质量,而且使低沸塔与高沸塔的冷凝器负荷与再沸器负荷均减少了 2% 左右。

4 结论

利用 Aspen Plus 软件对某厂氯乙烯精馏工艺建立了模拟流程,模拟结果与工业生产数据比较表明,所建立的流程准确可靠。在此基础上对流程主要的低沸塔和高沸塔进行了灵敏度分析和优化计算,两者得出了相同的最佳进料位置和最佳回流比,即低沸塔最佳进料位置为第 4 块板,最佳回流比为 6;高沸塔最佳进料位置为第 21 块板进料,最佳回流比为 0.3。

以上分析与优化结果与前人的研究结果一致,

2 过程模拟

2.1 模拟方法

DBR 公司基于 20 年的实验数据技术上研发出 AMSIM 软件,可以专业模拟醇胺水溶液脱除天然气、合成气中的硫化氢 (H₂S)、二氧化碳 (CO₂)、氧硫化碳 (COS)、二硫化碳 (CS₂)。

AMSIM 采用严格的非平衡态塔板模型及 P-R 状态方程模拟吸收塔和解吸塔的操作,其中包含 Kent-Eisenberg 热力学模型^[4]和 Li-Mather^[5]电解质模型。

Kent-Eisenberg 热力学模型采用拟平衡常数方法表示与 H₂S 和 CO₂ 气相压力平衡的气相负荷,能较好地关联实验数据,且较 Li-Mather 模型计算简单,因此脱硫脱碳过程模拟中采用 Kent-Eisenberg 热力学模型。

首先用 AMSIM 模块建立了脱硫脱碳模拟流程并设定过程模拟参数,计算了各台设备的操作参数及净化气、解吸气的组成,将计算值与实际运行工况进行比较,见表 1、表 2。

表 1 工艺操作参数计算值与实际值对比 ℃

设备	操作参数	实际运行值	模拟计算值
T-101 吸收塔	塔顶温度	60	60
	塔底温度	68	67
T-102 解吸塔	塔顶温度	100	101
	塔底温度	110	110
E-101 贫富液换热器	壳程进出口温度	110~77.6	110.8~76.9
	管程进出口温度	67.7~100	66.9~100.8

这也表明在传统化工领域进行的流程分析与优化中,AspenPlus 的模拟计算是非常可靠的,其内部嵌入的多种分析和优化工具也是可靠的和有效的。

参考文献

- [1] 严福英. 聚氯乙烯工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1990.
- [2] 郑石子, 颜才南, 胡志图, 等. 聚氯乙烯生产与操作[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 199-214.
- [3] 邴涓林, 黄志明. 聚氯乙烯工艺技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [4] 李建清, 王二强, 黄金成, 等. 隔板塔应用于氯乙烯精馏过程的模拟分析[J]. 现代化工, 2012, 32(8): 104-107.
- [5] 李群生, 郭凡, 任钟旗, 等. PVC 生产中氯乙烯精馏系统的研究及工业优化[J]. 现代化工, 2016, 36(12): 129-131.
- [6] 杨霞, 吕玮, 王朋辉, 等. 基于 Aspen Dynamics 氯乙烯精馏过程的动态模拟及应用[J]. 计算机与应用化学, 2015, 32(9): 1059-1062.
- [7] 田文德, 汪海, 王英龙, 等. 化工过程计算机辅助设计基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012. ■